

MAREK DOBOSZ

Instytut Metrologii i Systemów Pomiarowych
Politechnika Warszawska

WŁAŚCIWOŚCI METROLOGICZNE PRZELĄCZAJĄCEJ GŁOWICY TRIANGULACYJNEJ DLA WSPÓŁRZĘDNOŚCIOWYCH MASZYN POMIAROWYCH

W pracy przedstawiono metodę optycznej triangulacji w zastosowaniu do detekcji położenia powierzchni. Do detekcji sygnału optycznego użyto fotodiode dwusegmentową. Przeanalizowano wpływ geometrii układu triangulacyjnego, własności powierzchni testowanej, oraz jej kąt pochylenia na dokładność pozycjonowania.

1. WSTĘP

Jedną z najstarszych bezkontaktowych optycznych metod pomiaru przemieszczeń jest metoda triangulacji. Metoda triangulacji polega na pomiarze zmian zależności geometrycznych w trójkącie utworzonym przez człony układu tzn.: laser, detektor i przedmiot pomiaru. Szczegółową analizę geometryczną układu triangulacyjnego można znaleźć w pracach [1, 2]. Dzięki zastosowaniu diody laserowej jako źródła światła metoda ta przeżywa w ostatnich latach gwałtowny rozwój. Układy triangulacyjne charakteryzują się istotnie różniącymi się własnościami metrologicznymi w zależności od przyjętych parametrów geometrycznych [2–7]. Ocena metrologiczna urządzenia triangulacyjnego jest również ściśle związana z rodzajem powierzchni testowanej oraz jej dopuszczalnymi pochyleńmi [7–11].

Największy obszar zastosowań przemysłowych tej metody to technika współrzędnościowa, gdzie głowica triangulacyjna spełnia rolę bezstykowego pozycjonera powierzchni obiektu mierzonego [9, 11, 12].

Wszystkie oferowane handlowo głowice triangulacyjne są głowicami mierzącymi, czasami z możliwością pracy przelączającej. Przez pracę przelączającą należy rozumieć takie funkcjonowanie głowicy w którym sygnalizuje ona, poprzez zmianę stanu wyjścia, koincydencję ogniska penetrującego (umownego) z testowaną powierzchnią. Wymóg pomiaru przemieszczenia testowanej powierzchni przez głowicę triangulacyjną powoduje, że jej budowa nie jest optymalna ze względu na pracę przelączającą. Przede wszystkim w konstrukcji obecnie oferowanych głowic do pomiaru przemieszczenia plamki świetlnej wykorzystuje się fotodetektory typu PSD (position-sensing photodetectors) [13]. Charakteryzują się one znacznie większymi szumami w porównaniu z fotodiodami typu PIN (między innymi ze względu na dużą powierzchnię

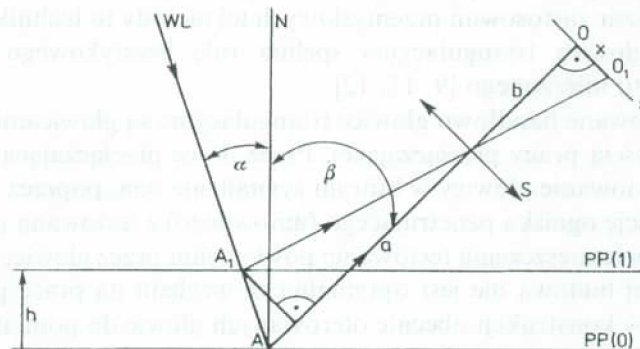
światłoczułą), przy czym ograniczenie szumu poprzez zawężenie pasma przenoszenia powoduje istotne zmniejszenie szybkości odpowiedzi. Fotodetektory PSD charakteryzują się również wyższym termicznym dryftem odpowiedzi (20 ppm na stopień Celsjusza), oraz znacznie wyższą ceną w porównaniu ze zwykłą fotodiodą PIN. W niektórych układach pomiarowych stosuje się liniowe kamery CCD [5, 7, 10, 12, 14]. Prędkość analizy takiej fotolinijki nie dorównuje jednak szybkości reakcji pojedynczej fotodiody, a koszt jest nieporównywalnie wyższy.

W wielu sytuacjach pomiarowych istnieje potrzeba określenia położenia powierzchni elementu w dużym zakresie pomiarowym (nie ograniczonym wielkością fotodetektora).

Głowica triangulacyjna służy wtedy jedynie sygnalizacji koincydencji ogniska penetrującego z powierzchnią (pracuje w sposób przełączający) a dodatkowy układ pomiarowy określa położenie głowicy w momencie koincydencji. W takim przypadku najważniejszym parametrem głowicy staje się dokładność (powtarzalność) i szybkość pozycjonowania (reakcji na koincydencję). Wydaje się w tej sytuacji celowe zastosowanie prostego fotodetektora pozycji w postaci fotodiody dwusegmentowej. W Instytucie Metrologii i Systemów Pomiarowych opracowano prototypową wersję przełączającej głowicy triangulacyjnej w której użyto dwusegmentową fotodiodę PIN. Poniżej przedstawiono jej charakterystykę metrologiczną.

2. ZASADA OPTYCZNEJ TRIANGULACJI

Geometrię biegu promienia w układzie triangulacyjnym przedstawia rysunek 1. Promień wiązki lasera WL pada na powierzchnię przedmiotu PP pod kątem α . Na powierzchni powstaje plamka światła rozproszonego w punkcie A. W punkcie O płaszczyzny analizy π soczewki S powstaje obraz tej plamki. Po przemieszczeniu powierzchni PP o wartość h dla nie zmienionego kierunku promieniowania laserowego, plamka świetlna przesunie się do punktu A_1 , a jej obraz w płaszczyźnie detekcji π przesunie się o wartość x do punktu O_1 . Położenie powierzchni mierzonego elementu w pozycji, która daje obraz plamki świetlnej na osi optycznej soczewki



Rys. 1. Zasada triangulacji optycznej

określa się położeniem zerowym oznaczającym koincydencję powierzchni z układem triangulacyjnym. Zależność przemieszczenia plamki świetlnej x od przemieszczenia h powierzchni PP na podstawie geometrii rys. 1 opisuje równanie (1) [1, 2]

$$x = \frac{fh \sin(\alpha + \beta)}{(a - f)\cos\alpha + h \cos(\alpha + \beta)} \quad (1)$$

gdzie zgodnie z rys. 1. α , β są odpowiednio kątami padania wiązki na przedmiot oraz obserwacji fotoelektrycznej. f jest ogniskową soczewki obrazującej. a jest odległością od soczewki obrazującej do płaszczyzny przedmiotowej czyli do plamki świetlnej utworzonej na powierzchni w położeniu zerowym PP. Równanie (1) odnosi się do sytuacji gdy fotodetektor znajduje się w płaszczyźnie sprzężonej z płaszczyzną powstawania plamek świetlnych w przestrzeni przedmiotowej. W wielu układach praktycznych fotodetektor umieszczany jest poza płaszczyzną sprzężoną i wtedy równanie to przyjmuje postać

$$x = \frac{bh \sin(\alpha + \beta)}{a \cos\alpha + h \cos(\alpha + \beta)} \quad (2)$$

gdzie b jest odległością od soczewki obrazującej do płaszczyzny fotodetektora.

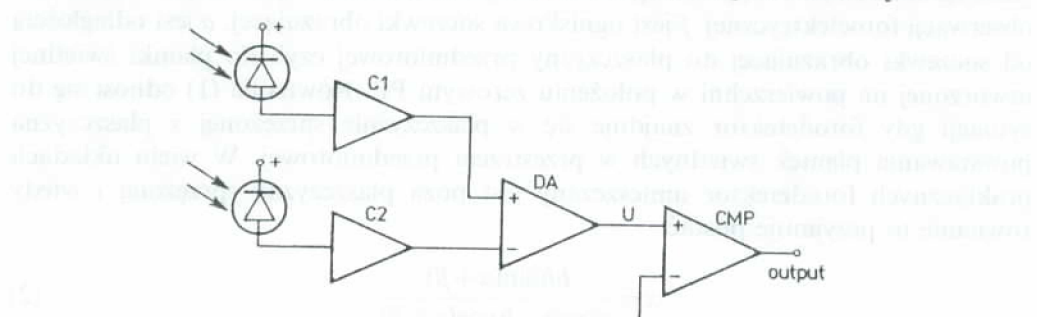
Parametry geometryczne układu triangulacyjnego (α , β , f , a , b) wynikają przede wszystkim z założeń konstrukcyjnych takich jak:

- wymiary sondy (ogniskowa f , odległość b)
- odległość pracy, oznaczająca odległość od sondy do testowanej powierzchni w trakcie pomiarów (parametr a),
- możliwość wnikania wiązki penetrującej w zagłębienia powierzchni (kąt triangulacji $\alpha + \beta$).

3. KONSTRUKCJA PROTOTYPU TRIANGULACYJNEJ GŁOWICY PRZEŁĄCZAJĄCEJ

W testowanym układzie jako źródło światła zastosowano wielomodową diodę laserową CQL20 Philips emitującą światło długości fali 790 nm o wykorzystywanej mocy 2 mW. Do fotodetekcji użyto dwusegmentową diodę BPX48 firmy Siemens. Zbudowana jest ona z dwóch prostokątnych struktur fotodiod PIN o wymiarach $0,7 \times 2,2$ mm odległych od siebie o 0,09 mm. Oświetlacz został skonstruowany z dwóch zespołów soczewek; zespołu kolimującego o ogniskowej ok. 9 mm i aperturze numerycznej 0,4, oraz zespołu ogniskującego o ogniskowej ok. 21 mm. Układ obrazujący charakteryzował się ogniskową ok. 13 mm. Geometrię układu triangulacyjnego tworzyły kąty $\alpha + \beta = 40^\circ$ (α od 0° do 20° w zależności od ustawienia głowicy), odległość powierzchni pozycjonowanej w położeniu zerowym od ostatniej powierzchni zespołu ogniskującego równa ok. 21,5 mm i od układu obrazującego $a = 13,5$ mm. Odległość b fotodetektora od soczewki obrazującej można było zmieniać w zakresie od 60 mm do 90 mm wpływając na czułość sondy.

Sygnal z fotodetektora przetwarzany był przez układ elektroniczny którego schemat blokowy przedstawia rys. 2. Konwertery prąd – napięcie C1 i C2 przetwarzają fotoprądy z segmentów P1 i P2 fotodetektora na napięcia. Wzmacniacz DA realizuje różnicę sygnałów z obu segmentów, która następnie przetwarzana jest na sygnał TTL przy pomocy komparatora CMP. Zmiana stanu wyjścia układu sygnalizuje symetryczne położenie plamki względem linii rozdzielającej segmenty fotodetektora i oznacza koïncydencję ogniska penetrującego z powierzchnią.



Rys. 2. Schemat blokowy elektronicznego układu przetwarzania sygnału w przelączającej głowicy triangulacyjnej

4. BADANIA POWTARZALNOŚCI SONDY

Powtarzalność pozycjonowania powierzchni przy pomocy układu triangulacyjnego zależy od wielu czynników z których najważniejsze to:

- powiększenie zastosowanego układu obrazującego,
- chropowatość powierzchni testowanej,
- materiał powierzchni testowanej,
- kąt pochylenia powierzchni.

W rzeczywistych pomiarach wymienione czynniki oddziałują jednocześnie, więc praktyczna ocena powtarzalności głowicy triangulacyjnej wymaga badań ich połączonego wpływu.

4.1. Wpływ powiększenia układu obrazującego na czułość i powtarzalność pozycjonowania

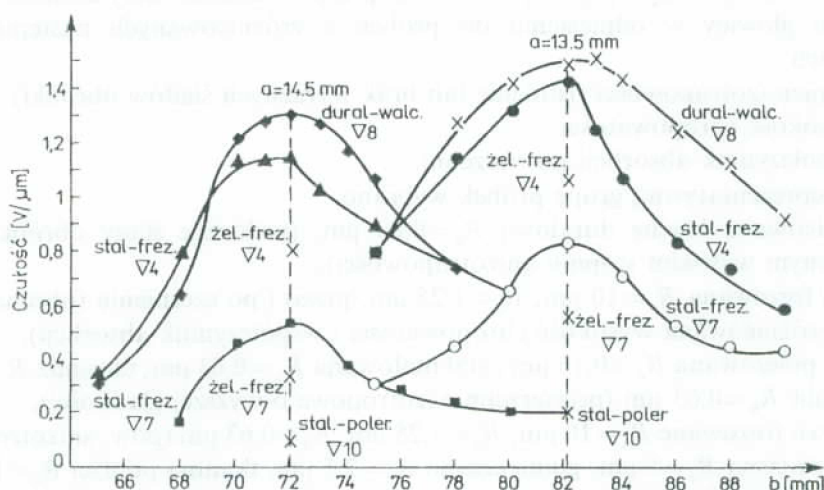
Powiększenie układu obrazującego w układzie triangulacyjnym, którego miarą jest stosunek odległości a/b informuje jaki jest stosunek przemieszczenia plamki świetlnej w płaszczyźnie fotodetektora do przesunięcia plamki na powierzchni testowanej. Powiększenie w dużym stopniu decyduje więc o czułości i rozdzielczości układu triangulacyjnego. W praktyce czynnikami ograniczającymi powiększenie układu obrazującego są:

- minimalna wymagana odległość pracy głowicy od powierzchni czyli minimalna wartość a oraz założone gabaryty urządzenia czyli maksymalna wartość b ,

— wielkość zastosowanej struktury fotodetektora limitująca średnicę plamki świetlnej w płaszczyźnie obrazu.

Poprzez minimalizację średnicy plamki na powierzchni testowanej można teoretycznie przy założonym powiększeniu dopasować średnicę plamki w płaszczyźnie obrazu do zastosowanej struktury fotodetektora. Jednak po zmniejszeniu średnicy wiązki penetrującej poniżej kilkudziesięciu mikrometrów dla zwykle testowanych rodzajów powierzchni światło odbite zwierciadlanie zaczyna dominować nad światłem rozproszonym powodując całkowite zaburzenie pracy układu triangulacyjnego.

Również dla dużych średnic wiązki penetrującej (od kilkudziesięciu do kilkuset mikrometrów) wpływ mikrogeometrii powierzchni na dobór powiększenia układu jest decydujący. Przykładowe rezultaty badań tego zjawiska przy użyciu omawianego prototypu sondy ilustruje rys. 3. Przedstawia on wpływ na czułość głowicy triangulacyjnej trzech rodzajów obróbki (walcowanie, frezowanie, polerowanie) powierzchni żeliwnej, stalowej i duralowej, w zakresie chropowatości R_a od 10 do 0,16 μm (oznaczone na rys. klasami chropowatości od $\nabla 4$ do $\nabla 10$) dla różnych wartości powiększenia. Stosunek wymiarów a/b zmieniany był poprzez zmianę odległości b przy dwóch zadanych wartościach parametru a . Czułość układu zdefiniowana jest jako współczynnik nachylenia regresji liniowej zależności napięcia różnicowego U (rys. 2) od położenia powierzchni testowanej w strefie położenia zerowego. Średnica plamki oświetlającej powierzchnię wynosiła ok. 60 μm .



Rys. 3. Przykładowy wpływ rodzaju obróbki i chropowatości powierzchni na czułość głowicy triangulacyjnej (klasy chrop. $\nabla 4, 7, 8, 10$ oznaczają orientacyjnie wartości parametru R_a ; kolejno 10, 1,25, 0,63, 0,16 μm)

Wyniki badań przedstawione na rys. 3 wskazują, że czułość układu triangulacyjnego rośnie wraz ze wzrostem powiększenia tylko do określonej optymalnej wartości by potem zacząć spadać. Zauważalna jest silna i złożona zależność czułości od klasy chropowatości, typu obróbki powierzchni oraz rodzaju materiału obróbki. Cechy

dominujące układu triangulacyjnego wskazywane przez omawiane rezultaty badań można sformułować następująco:

- dla większości parametrów powierzchni istnieje wartość optymalna powiększenia układu obrazującego (w naszym przypadku ok. $5-6\times$),
- czułość gwałtownie spada dla 10 klasy chropowatości ($R_a=0,16\text{ }\mu\text{m}$) ze względu na zmniejszenie ilości rozproszonego światła (wzrasta procent światła odbitego w sposób zwierciadlany).

Z praktycznego punktu widzenia w przypadku głowicy przełączającej bardziej niż czułość istotna jest jej powtarzalność pozycjonowania. Jako miarę powtarzalności pozycjonowania przyjęto graniczny błąd ustalenia położenia powierzchni $\pm 3s$ (gdzie s — odchylenie standardowe rozproszenia wyników). Na rys. 4 przedstawiono zależność powtarzalności od wartości parametru b przy $a=13,5\text{ mm}$, oraz $14,5\text{ mm}$ kolejno dla trzech typów powierzchni. Z porównania rysunków 3 i 4 wynika że minimalny błąd określania położenia powierzchni pojawia się dla powiększenia układu zapewniającego najwyższą czułość. Błąd ten w testowanym układzie triangulacyjnym mieści się w granicach od $\pm 0,2$ do $\pm 0,4\text{ }\mu\text{m}$ i silnie wzrasta przy niewielkiej zmianie powiększenia.

4.2. Wpływ własności powierzchni na powtarzalność pozycjonowania

Dla pełniejszej oceny wpływu powierzchni przeprowadzono testy czułości i powtarzalności głowicy w odniesieniu do próbek o zróżnicowanych następujących parametrach:

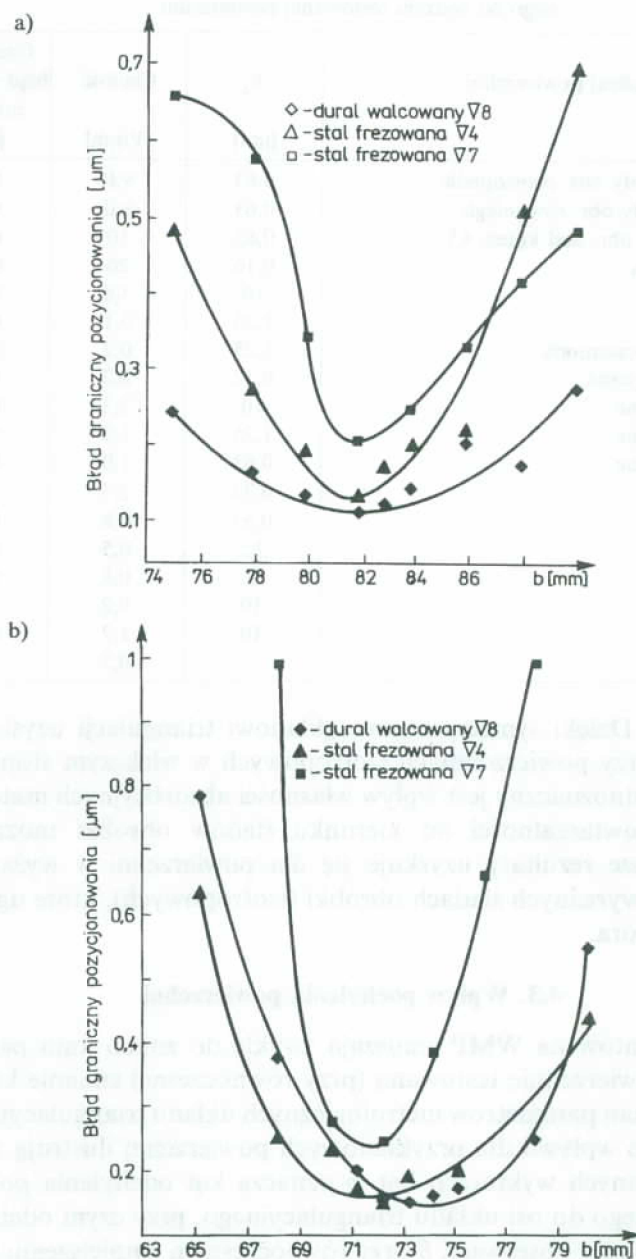
- stopień izotropowości (istnienie lub brak wyraźnych śladów obróbki)
- wysokość chropowatości
- współczynnik absorpcji powierzchni.

Jako reprezentatywną grupę próbek wybrano:

- walcowaną blachę duralową $R_a=0,63\text{ }\mu\text{m}$, (widoczne ślady obróbki przy równoczesnym wysokim stopniu anizotropowości),
- stal frezowana $R_a=10\text{ }\mu\text{m}$, $R_a=1,25\text{ }\mu\text{m}$, przed i po czernieniu (obecne ślady obróbki, zróżnicowana wysokość chropowatości i współczynnik absorpcji),
- stal polerowana $R_a=0,16\text{ }\mu\text{m}$ i stal malowana $R_a=0,63\text{ }\mu\text{m}$, mosiądz $R_a=0,32\text{ }\mu\text{m}$, tekstolit $R_a=0,63\text{ }\mu\text{m}$ (powierzchnie izotropowe o wyższej gładkości),
- żeliwo frezowane $R_a=10\text{ }\mu\text{m}$, $R_a=1,25\text{ }\mu\text{m}$, $R_a=0,63\text{ }\mu\text{m}$ (pow. anizotropowe,
- skóra jasna $R_a=5\text{ }\mu\text{m}$, guma czarna $R_a=2,5\text{ }\mu\text{m}$, tkanina poniżej $R_a=10\text{ }\mu\text{m}$, ceramika, drewno $R_a=10\text{ }\mu\text{m}$, (wysoka izotropowość w niskich klasach chropowatości).

Dla zwiększenia poziomu sygnału fotoelektrycznego przy powierzchniach o wysokiej refleksyjności zastosowano kąt oświetlenia α równy kątowi odbioru β . Badania dla powierzchni duralowej przeprowadzono przy różnych położeniach kierunku śladów obróbki.

Rezultaty testów przedstawiono w tabeli I. Wyniki te wskazują przede wszystkim na wzrost czułości dla niższych klas chropowatości charakteryzujących się dużą



Rys. 4. (a) Zależność powtarzalności pozycjonowania od wartości parametru b przy $a = 13,5 \text{ mm}$, oraz (b) przy $a = 14,5 \text{ mm}$ dla trzech typów powierzchni

T a b e l a 1. Zależność parametrów metrologicznych optycznego pozycjonera triangulacyjnego od rodzaju testowanej powierzchni

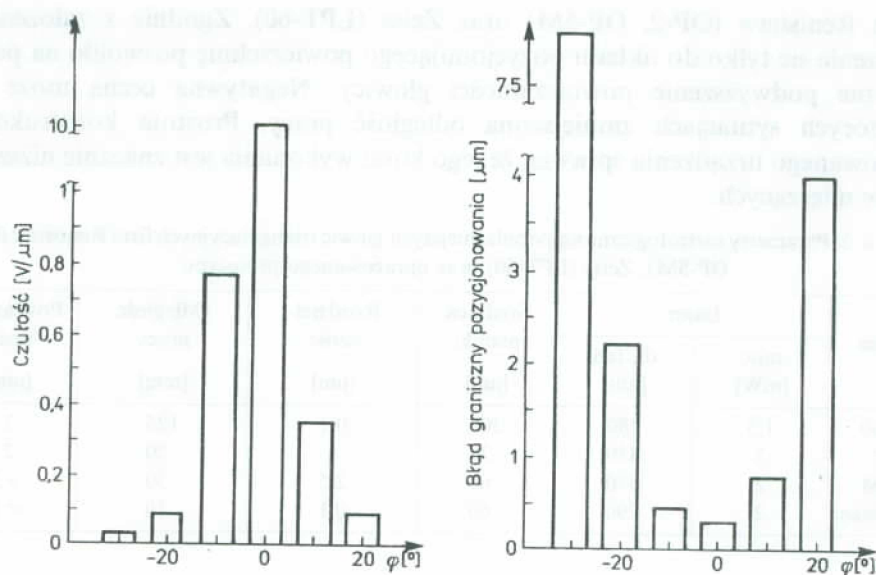
Rodzaj powierzchni	R_a [μm]	Czułość [V/μm]	Graniczny błąd pozycjo- nowania [μm]
Dural walc., ślady obr. prostopadłe	0,63	9,0	0,25
Dural wal., ślady obr. równoległe	0,63	9,0	0,25
Dural walc., śl. obr. pod kątem 45°	0,63	10	0,30
Stal polerowana	0,16	20	0,40
Stal frezowana	10	3,8	0,25
Stal frezowana	1,25	3,1	0,20
Stal frezowana czerniona	1,25	0,2	0,60
Stal malowana jasna	0,32	2,2	0,50
Żeliwo frezowane	10	2,2	0,30
Żeliwo frezowane	1,25	1,0	0,15
Żeliwo frezowane	0,63	1,0	0,30
Mosiądz	0,32	2,3	0,30
Tekstolit	0,63	0,8	0,50
Guma czarna	2,5	0,5	0,90
Skóra jasna	5	0,8	0,30
Drewno	10	0,2	1,30
Ceramika	10	1,7	0,50
Tkanina	—	0,2	1,00

anizotropowością. Dzięki symetrycznemu układowi triangulacji uzyskano również wysokie czułości przy powierzchniach izotropowych w większym stopniu odbijających światło. Niejednoznaczny jest wpływ własności absorbcyjnych materiału. Zależność czułości i powtarzalności od kierunku śladów obróbki można uznać za niewielką. Najgorsze rezultaty uzyskuje się dla powierzchni w wyższych klasach chropowatości i o wyraźnych śladach obróbki (izotropowych), które uginają światło poza oś fotodetektora.

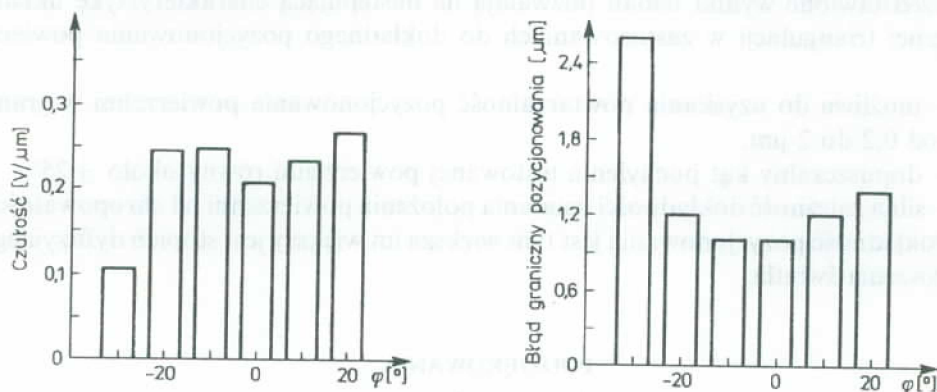
4.3. Wpływ pochylenia powierzchni

Pomiary elementów na WMP zmuszają zwykle do zmian kąta padania wiązki penetrującej na powierzchnię testowaną (przy równoczesnej zmianie kąta odbioru). Prowadzi to do zmian parametrów metrologicznych układu triangulacyjnego. Wyniki badań omawianego wpływu dla przykładowych powierzchni ilustrują rys. 5, 6.

Na przedstawionych wykresach kąt φ oznacza kąt odchylenia powierzchni od położenia normalnego do osi układu triangulacyjnego, przy czym odchylenie w kierunku zwiększenia kąta obserwacji β przy równoczesnym zmniejszeniu kąta padania α przyjęto jako dodatnie. Rys. 5 przedstawia charakterystykę kierunkową czułości i powtarzalności układu dla powierzchni duralowej $\nabla 8$ ($R_a = 0,63 \mu\text{m}$) o śladach obróbki położonych pod kątem 45° do płaszczyzny triangulacji. Zbliżone charakterem rezultaty uzyskuje się dla innych kierunków śladów. Charakterystyczna jest tutaj wysoka powtarzalność układu w obszarze kątowym dającym jego najwyższą



Rys. 5. Charakterystyka kierunkowa czułości i powtarzalności głowicy dla powierzchni duralowej $\nabla 8$ ($R_a = 0,63 \mu m$) o śladach obróbki położonych pod kątem 45° do płaszczyzny triangulacji



Rys. 6. Charakterystyka kierunkowa czułości i powtarzalności pozycjonowania głowicy dla tkaniny

czułość. Efekt ten zanika przy powierzchniach izotropowych. Przykładem jest rezultat otrzymany dla powierzchni tkaniny (rys. 6). W obu przytoczonych badaniach praktyczny zakres dopuszczalnych pochyłeń kątowych powierzchni wynosi około $\pm 25^\circ$.

5. OCENA METROLOGICZNA PROTOTYPU PRZEŁĄCZAJĄCEJ GŁOWICY TRIANGULACYJNEJ

W tabeli 2 przedstawiono porównanie opracowanej w IMSP przełączającej głowicy triangulacyjnej z dostępnymi na rynku głowicami pomiarowo-przełączającymi-

mi firm Renishaw (OP-2, OP-5M) oraz Zeiss (LPT-60). Zgodnie z założeniami ograniczenie się tylko do układu pozycjonującego powierzchnię pozwoliło na ponad dwukrotne podwyższenie powtarzalności głowicy. Negatywną cechą może być w niektórych sytuacjach zmniejszona odległość pracy. Prostota konstrukcyjna proponowanego urządzenia sprawia, że jego koszt wykonania jest znacznie niższy od układów mierzących.

T a b e l a 2. Parametry metrologiczne najpopularniejszych głowic triangulacyjnych firm Renishaw (OP-2, OP-5M), Zeiss (LPT-60) oraz opracowanego prototypu

Głowica	Laser		Średnica plamki [μm]	Rozdziel- czość [μm]	Odległość pracy [mm]	Powtarzal- ność [μm]
	moc [mW]	dł. fali [nm]				
LPT-60	1,5	780	300	0,1	125	2
OP-2	5	830	25	1	20	2
OP-5M	2	670	60	2,5	50	> 2
Gł. przełącz.	2	790	60	0,1	10	< 1

6. WNIOSKI

Przedstawione wyniki badań pozwalają na następującą charakterystykę układu optycznej triangulacji w zastosowaniach do dokładnego pozycjonowania powierzchni:

- możliwa do uzyskania powtarzalność pozycjonowania powierzchni w granicach od 0,2 do 2 μm ,
- dopuszczalny kąt pochylenia testowanej powierzchni równy około $\pm 25^\circ$,
- silna zależność dokładności ustalania położenia powierzchni od chropowatości.

Dokładność pozycjonowania jest tym większa im większy jest stopień dyfuzyjnego rozproszenia światła.

PODZIĘKOWANIA

Autor dziękuje mgr S. Oleksiukowi za jego udział w realizacji pomiarów.

LITERATURA

1. Rosenberger D.: *Laser sensor for industry*. Alfa freq., 41, nr 10, s. 771–776 (1972).
2. Tanwar L.S., Jain P.C., Kunzman H.: *Design parameters of EO sensor*, Proc. SPIE, 1332, nr 1, s. 877–882 (1990).
3. Oleksiuk S.L. *Projekt bezstykowej głowicy przełączającej do współrzędnościowej maszyny pomiarowej*, Praca dyplomowa. Inst. Metr. i Syst. Pomiarowych, Warszawa 1992.
4. Gupta B.N., Tanwar L.S.: *Effect of tilt and positional measurement by an electro-optical sensor*. Optics and Lasers in Engineering, 6, nr 1, s. 35–42 (1985).
5. Clark T.A., Grattan K.T.V., Lindsey N.E.: *Laser-based triangulation techniques in optical inspection of industrial structures*. Proc. SPIE, 1332, nr 1, s. 474–486 (1990).

6. Wiese D.R., *Laser Triangulation sensors: a good choice for high speed inspection*, I&CS, Vol. 62, nr 9, s. 27–29 (1989).
7. Rothe H., Truckenbrodt H.: *Laser triangulation near the diffraction limit*. Int. Journ. Optoelectron., 8, nr 5–6, s. 656–667 (1993).
8. Dorsch R.G., Häusler G., Herrmann J.: *Laser triangulation: fundamental uncertainty in distance measurement*. Applied Optics, 33, nr 7, s. 1306–1314 (1994).
9. Modjard A.: *Non-contact measurement using a laser scanning probe*. Proc. SPIE, 1012, s. 229–239 (1989).
10. Jones R., Rowbotham L., Prithett M.: *Optical triangulation using CCD array with sub-pixel resolution*. Proc. SPIE, 954, s. 716–721 (1990).
11. Buzinski M., Levine A., Stevenson W.H.: *Laser Triangulation range sensors: a study of performance limitations*, Sensing, Meas. Control, 4, nr 1, 29–35, (1992).
12. Koch K.P., *Briefing: opto-mechanical metrology*. Sensor Rev., 9, nr 4, s. 211–217 (1989).
13. Lindholm L., Edwards I.K.: *Analog Position-Sensing Photodetectors: new life for an old technology*. Photonics Spectra, nr 11, 159–166 (1991).
14. Jones R., Rowbotham L., Prithett M.: *Optical triangulation using CCD array with sub-pixel resolution*. Proc. SPIE, 1010, nr 1, s. 25–30 (1989).

METROLOGICAL PROPERTIES OF THE TRIANGULATION TRIGGERING PROBE FOR THE COORDINATE MEASURING MACHINES

S u m m a r y

Optical-triangulation-based method applied for surface position determination is presented. Double-segment photodiode for optical signal detection has been applied. Geometry of triangulation set-up, properties of tested surface and its angle of inclination are studied as a most important parameters influencing positioning accuracy.